

# Research on Mechanical Properties of Steel-UHPC Composite Beam Based on Strength Grade

Xiao Yu

College of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

## Abstract

Composite beam have been widely studied and applied in theory because of their excellent mechanical properties. The appearance of new materials also makes composite beams have a broader application prospect. Steel-UHPC composite beam structure is a new structure form integrating high-performance structure and high-performance material. Based on the change of concrete strength grade, the paper uses ansys finite element analysis software to compare the performance of composite beam with different concrete strength grade. The results show that the strength grade of concrete can improve the carrying capacity of structure yield and limit, increase the mid-span deflection of structure limit, but reduce the mid-span deflection of structure yield.

## Keywords

composite beam; UHPC; strength grade; carrying capacity; mid-span deflection

# 基于强度等级的钢-UHPC 组合梁力学性能研究

余潇

重庆交通大学土木工程学院, 中国 · 重庆 400074

## 摘要

组合梁以其优异的力学性能得到十分广泛的科学研究与理论应用, 新型材料的出现也使组合梁出现了更加广阔的应用前景。钢-UHPC 组合梁结构是一种集高性能结构与高性能材料于一体的新型结构形式, 论文基于混凝土强度等级的变化, 采用 ansys 有限元分析软件对不同混凝土强度等级下的组合梁进行性能对比研究。研究表明: 混凝土强度等级的提高能提高结构屈服与结构极限的承载能力, 也增大了结构极限的跨中挠度, 但降低了结构屈服时的跨中挠度。

## 关键词

组合梁; UHPC; 强度等级; 承载能力; 跨中挠度

## 1 引言

钢-混凝土组合结构是将钢与混凝土通过抗剪连接键组合而成的新型结构, 能有效发挥钢材的抗拉性能与混凝土的抗压性能。组合结构上世纪末在中国新起, 历经二十年的发展, 如今对其力学性能的研究已较为透彻, 组合结构也已广泛的应用于大跨桥梁、高层建筑等重要工程结构中<sup>[1]</sup>。超高性能混凝土(UHPC)是新世纪以来材料发展的结晶, 具有高强度、高耐久性、高稳定性等优异的性能, 现如今 UHPC 也广泛的应用于桥梁工程中, 目前全世界已建成的 UHPC 梁桥有 100 多座, 多以梁桥为主<sup>[2]</sup>。

中国的许多学者针对普通混凝土组合梁的滑移效应、结构刚度、结构承载力等做了相关研究<sup>[3-4]</sup>, 其桥面板厚、负

弯矩区混凝土易开裂等突出问题成为钢-混凝土组合梁发展的制约, 将普通混凝土变化为 UHPC 后, 形成钢-UHPC 组合梁(以下简称 UHPC 组合梁), 能解决自重大、易开裂等问题, 推进了组合结构的创新与发展。北京交通大学的张彦玲、阎贵平等<sup>[5-6]</sup>进行了 UHPC 组合梁的破坏模式与承载能力的研究, 认为 UHPC 组合梁承载能力显著高于普通混凝土组合梁, 翼缘板厚度可以减薄 15% 以上, 也可以有效提高负弯矩区的开裂荷载; 福州大学的刘君平针对同等抗弯强度等级下的 UHPC 组合梁与普通混凝土组合梁做了试验研究, 得出两种组合梁破坏模式相近, 但 UHPC 桥面板厚度可以减少 28%, 滑移与剪力滞效应均明显减小<sup>[7]</sup>。

材料性能是影响结构性能的关键因素之一, 以往的研究多仅是针对普通混凝土与 UHPC 开展的对比研究, 但这两种

材料之间有多个强度等级，基于强度等级变化而引起组合梁的性能变化规律是未知的，故论文基于混凝土材料强度的变化展开组合梁力学性能的研究，可对不同混凝土强度等级下的组合梁设计提供理论参考。

## 2 研究模型

论文研究的对象为不同强度等级的钢 - 混凝土组合梁，混凝土等级有 C50、C80、RPC90、RPC120、RPC150 五种。研究以数值分析为主，采用 ansys 通用有限元软件对不同强度等级下的钢 - 混凝土组合梁进行分析。

### 2.1 截面选取

论文中的数值模拟选取组合梁中的钢梁截面为工字型，上部混凝土尺寸为 750mm × 100mm，截面尺寸如图 1 所示。

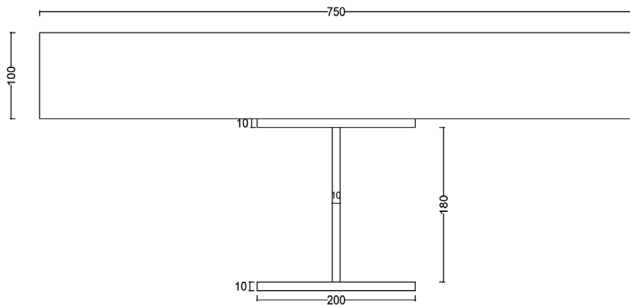


图 1 组合梁截面图

### 2.2 有限元模型

组合梁中的混凝土采用 solid65 单元模拟，钢板采用 shell181 单元模拟，混凝土与钢板上翼缘采用耦合的方式连接，不考虑交界面的滑移，有限元模型如图 2 所示。

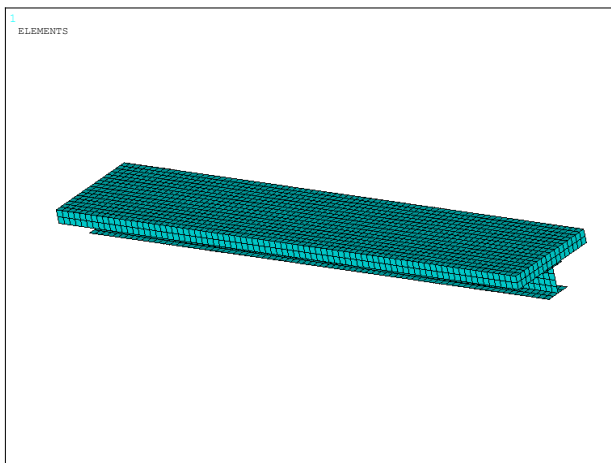


图 2 有限元模型

论文钢梁采用等级为 Q345，模型中以 Q345 的设计强

度 310MPa 为标准，泊松比 0.3，混凝土采用五种强度等级，如表 1 所示采用文献 8 的研究成果，列出了 C50、C80、RPC90、RPC120、RPC150 五种混凝土的强度、峰值压应力、弹性模量等性质。模型中的钢材与混凝土均采用理想弹塑性模型。

表 1 混凝土的强度、峰值压应力、弹性模量表

	C50	C80	RPC90	RPC120	RPC150
抗压强度标准值 (MPa)	50	80	90	120	150
抗压强度设计值 (MPa)	23.1	35.9	58.9	78.2	97.6
抗拉强度 (MPa)	1.89	2.22	4.58	6.56	8.34
峰值压应变	0.002	0.002	0.0024	0.0029	0.0033
弹性模量 (MPa)	$3.45 \times 10^4$	$3.50 \times 10^4$	$3.60 \times 10^4$	$4.01 \times 10^4$	$4.36 \times 10^4$

### 2.3 加载方式

论文采用的加载方式为两点对称加载，加载点到端点距离为 1500mm，加载点之间距离为 1000mm，加载形式如图 3 所示。

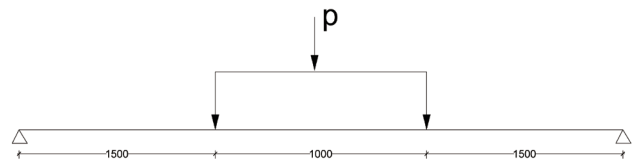


图 3 加载示意图

## 3 结果分析

论文的混凝土模型为理性弹塑性模型，故论文的极限状态为混凝土达到极限压应变，此时刻的加载量即为极限加载量，钢板下翼缘进入屈服时的加载量为结构屈服加载量。

为方便区分，五种混凝土强度等级的组合梁编号如表 2 所示。

表 2 混凝土强度等级

混凝土类别	C50	C80	RPC90	RPC120	RPC150
梁编号	L1	L2	L3	L4	L5

对五种混凝土强度等级下的组合梁有限元结果进行分析，可得如图 4 所示的荷载 - 位移关系图。

此截面的组合梁当采用 C50 混凝土时，中和轴位于混凝土与钢板交界处，随着混凝土强度等级的提高，塑性中和轴

上移。此论文仅针对中和轴位于混凝土截面内的情况，组合梁保持混凝土截面与钢梁截面均不变。

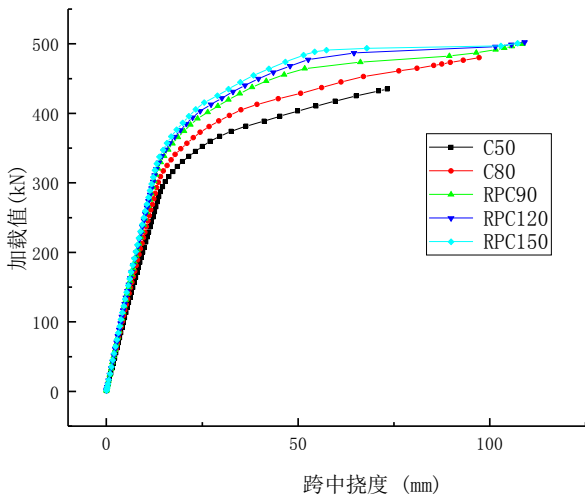


图 4 荷载 - 位移关系曲线图

由图 4 可以看出，在加载初期，L1-L5 梁均是处于线弹性范围，五种强度等级的混凝土的弹性模量差异性不大，且截面相同，故弹性阶段的图像几乎重合。继续加载到一定荷载后，钢材屈服，进行塑性阶段，但此时混凝土尚未被压碎，故而可以继续承载。但由于钢材进入屈服阶段，结构刚度降低，截面的刚度主要由混凝土提供，此时混凝土部分也并非全截面贡献刚度，仅是受压部分的混凝土贡献刚度，故而 L1 组合梁塑性阶段刚度最大，变形发展较慢，L5 组合梁塑性阶段刚度最小，变形发展迅速。随着加载值进一步增大，上部混凝土逐渐被压碎，结构达到极限状态，荷载 - 位移图像平行于 X 轴。

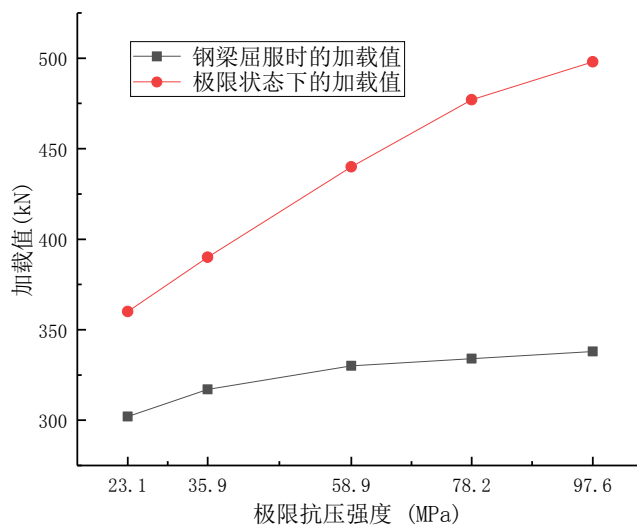


图 5 加载值 - 极限抗压强度关系曲线图

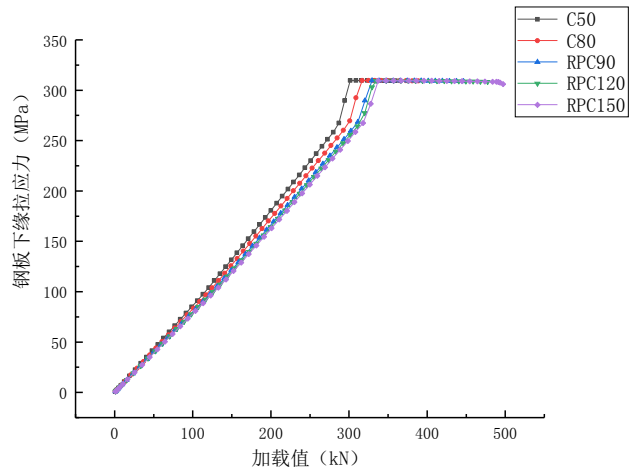


图 6 钢板下缘拉应力 - 加载值关系曲线图

如图 5 和图 6 所示可以看出，仅增大上部混凝土强度，能在一定程度上提高钢梁屈服时的承载力与结构极限承载力，且几乎随着混凝土强度等级呈线性增加，但结构极限承载力的涨幅约为 10%，结构屈服承载力增长幅度仅约为 2% 左右。

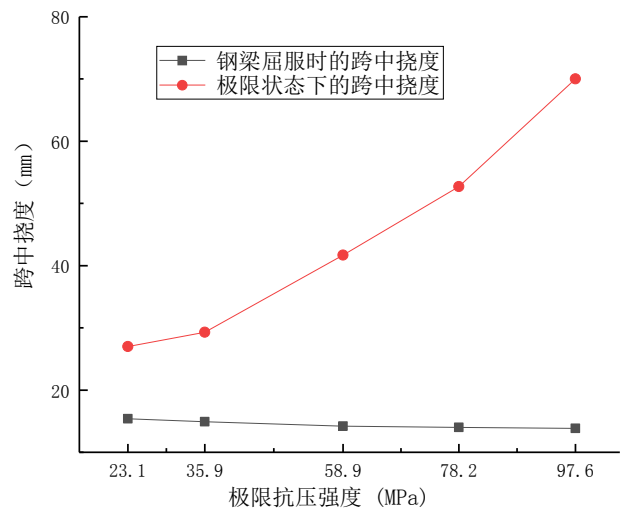


图 7 跨中挠度 - 抗压强度关系曲线图

由图 7 可以看出，提高混凝土强度，钢梁屈服时的跨中挠度下降，降低幅度约为 10%，结构屈服前处于弹性阶段，且混凝土强度等级越高，弹性模量会有一定程度的增大，故 L5 组合梁弹性阶段截面刚度最大，L1 组合梁最差，因而 L5 组合梁在结构屈服时的跨中挠度最小，L1 梁最大。

当结构达到极限状态时，极限状态下的跨中挠度增长幅度约为 30%，L5 组合梁受压区范围最小，故而截面的刚度最小，因此 L5 组合梁极限状态时的跨中挠度最大，L1 组合梁极限时的跨中挠度最小。

## 4 结语

第一,保持组合梁钢板截面与混凝土截面不变,且中和轴位于混凝土截面内,随着混凝土强度等级的提高,结构屈服时的承载力与极限承载力均有一定程度的提高,结构极限承载力提高幅度约为10%,结构屈服承载力提高幅度约为2%。

第二,混凝土强度的提高能降低结构屈服时的跨中挠度,降低幅度约为10%,但增大了结构极限状态时的跨中挠度,增大幅度约为30%。

第三,此论文仅针对中和轴在混凝土截面内的情况,后续可以针对相同截面下中和轴位于钢梁截面内、不同截面的组合梁基于强度等级的性能变化规律进行研究。

## 参考文献

[1] 聂建国. 钢-混凝土组合结构桥梁[M]. 北京:人民交通出版

社,2011:1-37.

- [2] 阎培渝. 超高性能混凝土(UHPC)的发展与现状[J]. 混凝土世界,2010(09):36-41.
- [3] 黄侨,郭赵元,万世成,等. 钢-混凝土组合梁桥的截面弹性抗弯承载力计算方法研究[J]. 中国公路学报,2017(03):167-174.
- [4] 刘洋,童乐为,孙波,等. 负弯矩作用下钢-混凝土组合梁受力性能有限元分析及受弯承载力计算[J]. 建筑结构学报,2014(10):10-20.
- [5] 张彦玲,王元清,季文玉. 钢-活性粉末混凝土简支组合梁正截面破坏模式[J]. 铁道科学与工程学报,2009(01):10-15.
- [6] 张彦玲,阎贵平,安明喆,等. 钢-活性粉末混凝土组合梁的极限承载力[J]. 北京交通大学学报,2009(01):81-85.
- [7] 刘君平,徐帅,陈宝春. 钢-UHPC组合梁与钢-普通混凝土组合梁抗弯性能对比试验研究[J]. 工程力学,2018(11):92-98+145.
- [8] 吕雪源,王英,符程俊,等. 活性粉末混凝土基本力学性能指标取值[J]. 哈尔滨工业大学学报,2014(10):1-9.